



MINISTERO DELL'INDUSTRIA DEL COMMERCIO E DELL'ARTIGIANATO
DIREZIONE GENERALE PER LO SVILUPPO PRODUTTIVO E LA COMPETITIVITÀ
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE

N 01291835

Il presente brevetto viene concesso per l'invenzione oggetto della domanda sotto specificata:

num. domanda	anno	U.P.I.C.A.	data pres. domanda	classifica
000086	97	FIRENZE	18 04 1997	G02F

TITOLARE UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI FIRENZE
 A FIRENZE

RAPPR. TE BACCARO MANNUCCI LUISA

INDIRIZZO UFFICIO TECNICO ING A. MANNUCCI
 VIA DELLA SCALA 4
 50100 FIRENZE

TITOLO BARRIERA OTTICA BIDIMENSIONALE A GUIDA DI
 LUCE

INVENTORE BIAGI ELENA
 CALZOLAI MARCO
 FARSETTI STEFANO
 MASOTTI LEONARDO
 SANTORO MARIO

Roma, 21 GENNAIO 1999

IL DIRETTORE DELLA DIV. XIX
GIOVANNA MORELLI

Università Degli Studi di Firenze

"BARRIERA OTTICA BIDIMENSIONALE A GUIDA DI LUCE"

Descrizione 000086 18 APR 97

Campo Tecnico

La presente invenzione riguarda una barriera ottica del tipo comprendente un emettitore di radiazione elettromagnetica ed un sistema ricevitore che riceve radiazione elettromagnetica emessa da detto emettitore, per sorvegliare uno spazio tra detto emettitore e detto sistema ricevitore, avente la funzione di individuare la presenza e/o il passaggio di oggetti attraverso detto spazio.

Stato della Tecnica

Barriere di questo tipo possono essere impiegate in tutte le situazioni in cui si rende necessario sorvegliare una zona od un volume e generare ad esempio una condizione di allarme quando viene rilevato il passaggio o la presenza di un oggetto. Tipicamente, barriere di questo tipo vengono utilizzate come dispositivi di sicurezza che arrestano od inibiscono il funzionamento di macchine quando l'operatore entra con una parte del proprio corpo nella zona sorvegliata.

Attualmente, barriere che fanno uso di dispositivi optoelettronici sono limitate a configurazioni lineari, in cui ogni sensore è accoppiato ad un rispettivo fotoe-

mettitore. Queste barriere permettono, quindi, soltanto controlli di attraversamento di una zona molto ristretta. La possibilità di ampliare la zona sottoposta al controllo richiede l'utilizzo di cortine di sensori e di fotoemettitori con evidente aumento di costi e complessità del dispositivo.

Scopi dell'Invenzione

Scopo della presente invenzione è la realizzazione di un dispositivo di controllo del tipo sopra menzionato, che consenta la sorveglianza di una zona relativamente estesa, con una struttura semplice, affidabile ed economica.

Un ulteriore scopo della presente invenzione è la realizzazione di un dispositivo atto ad essere impiegato anche in ambienti industriali caratterizzati da condizioni di lavoro difficoltose, ad esempio per la presenza di forti campi elettromagnetici.

Sommario dell'Invenzione

Questi ed ulteriori scopi e vantaggi, che appariranno chiari agli esperti del ramo dalla lettura del testo che segue, sono ottenuti con una barriera comprendente: una sorgente di radiazione elettromagnetica di forma allungata; un sistema ricevitore che riceve radiazione elettromagnetica generata da detta sorgente e mezzi per generare un segnale quando un oggetto, non trasparente a

detta radiazione elettromagnetica, viene a trovarsi tra la sorgente ed il sistema ricevitore. Il sistema ricevitore comprende una guida d'onda allungata e sviluppantesi sostanzialmente secondo lo sviluppo della sorgente, e reca ad almeno un proprio estremo un sensore che rileva la radiazione elettromagnetica convogliata dalla guida d'onda.

In pratica, la sorgente emette nel visibile od in una gamma di lunghezze d'onda prossime al visibile e la guida d'onda sarà una guida di luce. Nel seguito verrà fatto riferimento frequentemente ad una guida di luce, dovendosi peraltro intendere che tale termine non è limitativo e che la radiazione elettromagnetica generata dalla sorgente e convogliata dalla guida d'onda può anche avere ad esempio una lunghezza d'onda prossima alla gamma visibile.

Per ottenere un buon segnale ed una sensibilità il più possibile omogenea lungo l'intera lunghezza della barriera, secondo una forma di attuazione preferita vengono previsti due sensori contrapposti e disposti ai due estremi della guida d'onda.

Ulteriori vantaggiose forme di attuazione dell'invenzione sono indicate nelle allegate rivendicazioni dipendenti.

Breve Descrizione dei Disegni

Il trovato verrà meglio compreso seguendo la descrizione e l'unito disegno, il quale mostra una pratica esemplificazione non limitativa del trovato stesso. Nel disegno: la

Fig.1 mostra uno schema di una barriera secondo l'invenzione; la

Fig.2 mostra un ingrandimento di una porzione di una guida di luce; la

Fig.3 mostra lo schema circuitale utilizzato per la misura dell'intensità del segnale raccolto dalla guida d'onda; e le

Figg.4 a 9 mostrano mappe rappresentative della sensibilità della barriera secondo l'invenzione, ottenute con diverse configurazioni della guida di luce e con diversi oggetti utilizzati come ostacoli nella zona sorvegliata.

Descrizione Dettagliata di Forme di Attuazione

In Fig.1 è mostrato uno schema realizzativo del dispositivo. Esso comprende una lampada a fluorescenza di adeguata lunghezza e potenza, ad esempio una lampada OSRAM 3631 da 36 W e 120 cm di lunghezza, alimentata direttamente dalla tensione di rete. La lampada è sostenuta da due coppie di montanti verticali 3, 5. Al di sotto della lampada è disposta una guida di luce di forma rettangolare in pianta e di limitato spessore, la cui lun-

ghezza è pari alla lunghezza D della zona che si desidera sorvegliare. La larghezza (cioè la dimensione ortogonale al piano del disegno) della guida di luce 7 può essere limitata, ad esempio a circa un quinto della lunghezza.

Alle estremità della guida d'onda sono disposti due sensori ottici 9, 11, ad esempio due sensori TSL 250 di produzione Texas Instruments Inc., USA, aventi una superficie sensibile di 1 mm². Ciascuna delle due estremità della guida di luce è chiusa all'interno di una scatola nera sigillata, che consente di isolare i sensori da altre fonti di luce e garantisce che essi risultino esposti unicamente alla luce veicolata dalla guida di luce 7.

In Fig. 3 è mostrato un possibile circuito elettronico per la misura del segnale rivelato dai due sensori 9, 11. Un sommatore invertente 13, a cui sono applicate le tensioni in uscita dai due sensori 9 e 11, produce in uscita un segnale pari a circa il doppio della somma delle tensioni fornite dai due sensori 9, 11.

La guida di luce 7 può essere realizzata con un qualunque materiale in grado di veicolare la luce incidente proveniente dalla lampada 1 verso le estremità della guida dove sono disposti i sensori. Ad esempio, può essere utilizzata una lastra di Plexiglass[®] od uno spezzone di pellicola OLF, prodotta dalla società Minnesota Mining and Manufacturing Company, USA (nota come 3M[®]) che è co-

stituito da uno strato di policarbonato avente una conformazione particolare, riportata schematicamente in Fig.2, con una superficie piana (che nell'applicazione di Fig.1 è rivolta verso la lampada 1) ed una superficie inferiore dentellata con superfici inclinate di 45° rispetto alla normale al piano mediano della pellicola.

La presenza di un ostacolo nella zona tra la lampada 1 e la guida di luce 7 determina una variazione del segnale rilevato dai due sensori 9 ed 11, e conseguentemente un segnale di uscita amplificato dal sommatore 13. La sensibilità della barriera è massima nel piano verticale contenente l'asse della lampada tubolare 1 ed ortogonale alla guida d'onda 7, ma la barriera è comunque sensibile anche alla presenza di un oggetto nel volume adiacente a tale piano e definito dalla larghezza della guida di luce 7.

Nel seguito verranno discussi i risultati sperimentali ottenuti utilizzando come sorgente di luce 1 la lampada sopra indicata, e come guida di luce uno spezzone di pellicola OLF di 65x15 cm di lato e di 0,67 mm di spessore, disposta a 50 cm dalla lampada 1. La sensibilità è stata misurata rilevando la variazione del segnale generato dai due sensori 9, 11 indotta dalla presenza di tre ostacoli opachi di forma sferica di raggio pari a 5, 3 e 1,5 cm rispettivamente. Varie misure sono state effettua-

re muovendo l'ostacolo nel piano verticale contenente l'asse della lampada 1. La misurazione del segnale è stata effettuata tramite un multimetro digitale M3600 della società METEX.

In primo luogo è stata effettuata una stima dell'entità del rumore sovrapposto alle misure di variazione del segnale. A tale scopo sono state effettuate 500 acquisizioni successive del segnale in assenza di ostacoli tra la lampada 1 e la guida di luce 7. la media e la deviazione standard di tali misure sono risultate pari a 1,246 v e 0,002 v rispettivamente. La banda di rumore totale, pari al doppio della deviazione standard, risulta uguale a 4 mV. Il limite di sensibilità della barriera ottica, pertanto, corrisponde al passaggio di oggetti che introducono variazioni del segnale non inferiori a 4 mV.

In Fig.4 è riportata una mappa della sensibilità della barriera, eseguita utilizzando un ostacolo opaco di forma sferica di raggio pari a 5 cm. Ogni gradazione di grigio corrisponde ad una variazione di segnale. In questa mappa, i bordi superiore ed inferiore corrispondono alla posizione della lampada 1 e della guida di luce 7 rispettivamente. I bordi laterali corrispondono ai bordi interni dei montanti 3 e 5. La mappa corrisponde, quindi, alla dimensione della porzione di piano verticale sorvegliato dalla barriera. Il passo di scansione orizzontale

e verticale è pari al diametro dell'ostacolo utilizzato. Le immagini sono ottenute interpolando i valori misurati. Vo è il segnale misurato in assenza di ostacoli nella regione sensibile. Le variazioni di segnale nei punti più sensibili della mappa di Fig.4 raggiungono valori di $180 \div 200$ mV, risultando così $45 \div 50$ volte più ampie della banda di rumore. I punti meno sensibili, peraltro, corrispondono a variazioni ancora elevate, comunque non inferiori a 100 mV. L'asimmetria destra/sinistra della mappa ottenuta è dovuta ad uno sbilanciamento di sensibilità delle due estremità della pellicola OLF utilizzata per realizzare la guida di luce 7.

Nella Fig.5 è riportata la mappa di sensibilità per un ostacolo più piccolo, di raggio pari a 3 cm. La variazione di segnale spazia dai 100 ai 30 mV, ovvero da 25 a 7,5 volte l'ampiezza della banda di rumore.

In Fig. 6 è riportata la mappa di sensibilità per un oggetto di raggio pari a 1,5 cm. la variazione di segnale raggiunge in questo caso i 40 mV nei punti più sensibili. Solo in corrispondenza dell'estremità inferiore essa arriva a sfiorare il valore della banda di rumore. La barriera è, pertanto, ancora sensibile al passaggio di oggetti di tali dimensioni.

Risultati validi per un impiego in campo industriale si sono ottenuti anche realizzando la guida di luce 7 con

uno strato di Plexiglass®, di spessore pari a 2,5 mm e di dimensioni in pianta pari a quelle dello strato di pellicola OLF. Il valore medio del segnale ottenuto in assenza di ostacoli nella regione sensibile è in questo caso pari a 4,76 V, mentre la banda totale di rumore è dell'ordine di 20 mV. In Fig.7 è riportata la mappa di sensibilità per un oggetto di raggio pari a 5 cm. Nei punti più sensibili, in alto al centro, la variazione di segnale raggiunge i 600 mV, pari a 30 volte la banda di rumore. Nei punti meno sensibili, in basso, la variazione risulta non inferiore a 9÷10 volte la soglia di sensibilità minima.

In Fig.8 è riportata la stessa mappa di sensibilità per un oggetto sferico di raggio pari a 3 cm. In corrispondenza dell'estremità superiore del dispositivo la variazione del segnale raggiunge i 380 mV, risultando dell'ordine di 20 volte la banda di rumore. Nella zona meno sensibile, in basso, la variazione rimane non inferiore a 4 volte la soglia di sensibilità.

In Fig. 9 è riportata la mappa di sensibilità per un oggetto sferico di raggio pari a 1,5 cm. Le variazioni del segnale spaziano da 50 a 190 mV, ovvero da 2,5 a 9,5 volte la soglia di sensibilità del sistema.

In definitiva i risultati delle misurazioni mostrano come l'utilizzo dello strato OLF e dello strato di Plexiglass® consenta di ottenere sensibilità paragonabili.

Inoltre, sia con la pellicola OLF che con il Plexiglass® sono state effettuate misure con scansioni della barriera lungo una direzione ortogonale al piano verticale contenente l'asse della lampada, per verificare profondità della regione sensibile, che è risultata dello stesso ordine di grandezza della larghezza della guida di luce 7.

E' stata infine dimostrata la possibilità di modulare l'intensità della lampada ad una frequenza pari a 1,1 kHz e di rivelare il segnale della barriera tramite un'elettronica accordata. Ciò è stato compiuto allo scopo di ridurre il rumore intrinseco del sistema e di discacciare lo stesso da sorgenti di disturbo esterno, ad esempio lampade per l'illuminazione dell'ambiente, luce solare e simili.

Il segnale ottico veicolato alle estremità dello strato non può essere ricondotto ad un puro effetto di guida dei raggi di luce rifratti all'interno del materiale. Un raggio incidente sulla superficie piana della guida di luce costituita dalla pellicola OLF viene in parte trasmesso all'interno della guida stessa. Il raggio rifratto subirà quindi una riflessione totale da parte della superficie inferiore sagomata, a patto che la sua proiezione sul piano dello strato risulti parallela o lievemente divergente rispetto agli spigoli dei prismi

che costituiscono la superficie sagomata (cfr. Fig.2). Il raggio che emerge dalla riflessione totale andrà ad incidere nuovamente sulla superficie piana superiore della guida di luce 7. Esso risulterà in parte trasmesso verso l'esterno e solo in parte riflesso nuovamente verso la superficie sagomata inferiore. Non si realizza, in altre parole, una condizione di guida ad intrappolamento totale analoga a quella delle fibre ottiche.

E' stato sviluppato un modello analitico per calcolare l'intensità di luce rilevata ad una estremità della guida di luce 7, prodotta dall'incidenza di un singolo raggio non polarizzato sulla superficie piana della guida stessa. Il modello è basato unicamente sul bilancio di energia della radiazione rifratta veicolata per riflessione parziale multipla verso l'estremità della guida di luce. L'analisi è limitata al caso in cui la proiezione del raggio sul piano della lamina formante la guida 7 risulti parallela agli spigoli dei prismi definenti la superficie inferiore della lamina. L'intensità $I_{estr.}$ all'estremità risulta data da:

$$I_{estr.} = I_0 (t_p^2 \times r_p^{2N} + t_{ort.}^2 \times r_{ort.}^{2N}), \quad (1)$$

dove I_0 è l'intensità incidente, t è il coefficiente di trasmissione del campo elettrico per il raggio che incide dall'esterno sulla superficie piana della guida di luce,

r è il coefficiente di riflessione per il raggio rifratto che incide sulla stessa superficie, i pedici p ed o indicano i contributi relativi alla polarizzazione parallela ed ortogonale al piano dell'barriera, ed N è il numero di riflessioni parziali che il raggio rifratto compie per raggiungere l'estremità della guida 7. Le grandezze t , r ed N dipendono dall'angolo θ_i compreso fra la direzione del raggio incidente esterno e la normale al piano della guida 7. Il numero N è dato dall'espressione:

$$N = \frac{L}{\operatorname{tg}\theta(2W + M\sqrt{2})}, \quad (2)$$

dove L è la distanza fra il punto di incidenza del raggio esterno e l'estremità della guida, le lunghezze W ed M sono indicate in Fig.2, e $\theta(\theta_i)$ è l'angolo di rifrazione corrispondente ad un valore di indice di rifrazione per OLF pari a 1.49. L'intensità data dall'equazione (1), con i valori tipici di una pellicola OLF e con una lunghezza L pari ad 35 cm, esibisce un singolo picco ad 89.93° con una larghezza totale a metà altezza pari a 0.13° .

E' stata effettuata una misura reale dell'intensità prodotta all'estremità dello strato in funzione dell'angolo θ_i in condizioni molto prossime a quelle ideali, utilizzando come sorgente di luce un laser ad

elio-neon con lunghezza d'onda $\lambda=632$ nm. Il laser è stato montato sulla testa di un goniometro in grado di effettuare una scansione angolare automatica. Il risultato di tale misura è stata una figura qualitativamente analoga a quella teorica, ma con una larghezza totale a metà altezza dell'ordine di $20^\circ \div 25^\circ$ ovvero più grande di circa un fattore $150 \div 190$.

Tale notevole disaccordo indica con chiarezza che un fenomeno di intrappolamento parziale per riflessioni multiple non può da solo giustificare il carattere dell'intensità luminosa veicolata all'estremità dello strato.

D'altra parte il raggio rifratto subirà diffusione in tutte le direzioni da parte delle molecole e da parte delle impurezze della pellicola OLF formante la guida d'onda 7. La radiazione diffusa conterrà contributi sufficientemente radenti da realizzare la riflessione totale sulla superficie piana della guida. Tali contributi, pertanto, verranno intrappolati rigorosamente e guidati verso l'estremità della guida di luce 7. Considerando il fenomeno della diffusione combinato a quello della riflessione parziale multipla del raggio rifratto è stato calcolato l'andamento dell'intensità luminosa esibita all'estremità in funzione dell'angolo di incidenza θ_i . Il

risultato di tale modello analitico è dato da:

$$I_{estr.} = \beta A I_0 L^{(1)} t_{ort}^2 \frac{1}{1 - r_{ort}^2}, \quad (3)$$

dove β è un fattore geometrico indipendente da θ_i , A è l'efficienza di diffusione per il raggio rifratto indipendente da θ_i , I_0 è l'intensità incidente, $t_{ort.}$ ed $r_{ort.}$ sono i coefficienti di trasmissione per il raggio incidente esterno e di riflessione per il raggio rifratto relativi alla polarizzazione ortogonale al piano della barriera, ed $L^{(1)}$ è la lunghezza percorsa dal raggio rifratto parallelamente alla superficie piana della guida fra due riflessioni contigue su tale superficie.

E' possibile dimostrare come, secondo un modello di diffusione della luce da dipolo elettrico, la componente con polarizzazione ortogonale dei raggi incidente e rifratto sia quella che induce il contributo di gran lunga dominante alla radiazione diffusa e veicolata all'estremità dello strato. La lunghezza $L^{(1)}$ è data da:

$$L^{(1)} = (2W + M\sqrt{2}) \operatorname{tg} \theta, \quad (4)$$

dove il significato dei simboli W , M e θ è già stato chiarito in occasione del commento all'equazione (2). L'intensità $I_{estr.}$ data dall'equazione (3) in funzione dell'angolo θ_i esibisce un singolo picco avente larghezza

totale a metà altezza pari a 58°. Tale larghezza risulta essere maggiore di circa 2÷3 volte quella sperimentale, in ogni caso dello stesso ordine di grandezza. Tale risultato mostra che l'ipotesi della diffusione combinata alla riflessione parziale multipla del raggio rifratto, come fenomeno sorgente dell'intensità luminosa veicolata all'estremità dello strato, è sostanzialmente corretta.

E' inteso che il disegno non mostra che una esemplificazione data solo quale dimostrazione pratica del trovato, potendo detto trovato variare nelle forme e disposizioni, senza peraltro uscire dall'ambito del concetto che informa il trovato stesso. L'eventuale presenza di numeri di riferimento nelle rivendicazioni accluse ha lo scopo di facilitare la lettura delle rivendicazioni con riferimento alla descrizione ed al disegno e non limita l'ambito della protezione rappresentata dalle rivendicazioni.

Rivendicazioni

1. Una barriera ottica comprendente una sorgente di radiazione elettromagnetica (1), un sistema ricevitore che riceve radiazione elettromagnetica generata da detta sorgente e mezzi per generare un segnale quando un oggetto non trasparente a detta radiazione elettromagnetica viene a trovarsi tra detta sorgente e detto sistema ricevitore, caratterizzata dal fatto che detta sorgente è allungata e che detto sistema ricevitore comprende una guida d'onda (7) allungata sviluppantesi sostanzialmente secondo lo sviluppo della sorgente, e recante ad almeno un proprio estremo un sensore (9; 11) che rileva la radiazione elettromagnetica convogliata da detta guida d'onda.

2. Barriera come da rivendicazione 1, caratterizzata dal fatto che detto sistema ricevitore presenta almeno due sensori (9, 11), disposti ad estremi opposti di detta guida d'onda secondo la direzione di sviluppo longitudinale della guida stessa.

3. Barriera come da rivendicazione 1 o 2, caratterizzata dal fatto che detta sorgente di radiazione elettromagnetica emette nel campo del visibile o prossimo al visibile.

4. Barriera come da rivendicazione 3, caratterizzata dal fatto che detta sorgente è una lampada fluorescente.

5. Barriera come almeno da rivendicazione 2, carat-

terizzata dal fatto di comprendere un circuito di somma dei segnali di uscita di detti due sensori.

6. Barriera come da una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzata dal fatto che detta guida d'onda è uno strato di pellicola OLF.

7. Barriera come da una o più delle rivendicazioni 1 a 5, caratterizzata dal fatto che detta guida d'onda è realizzata in Plexiglass®.

8. Barriera come da una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzata dal fatto che detta sorgente è modulata e che il sistema ricevitore è accordato alla con la modulazione della sorgente.

9. Barriera come da rivendicazione 8, caratterizzata dal fatto che detta sorgente è modulata in ampiezza a 1,1 kHz.

FIRENZE 18 APR. 1997


Dr. Luisa BACCARO MANNUCCI
N. 189 Ordine Consulenti

000086 18 APR 97

FIG. 1

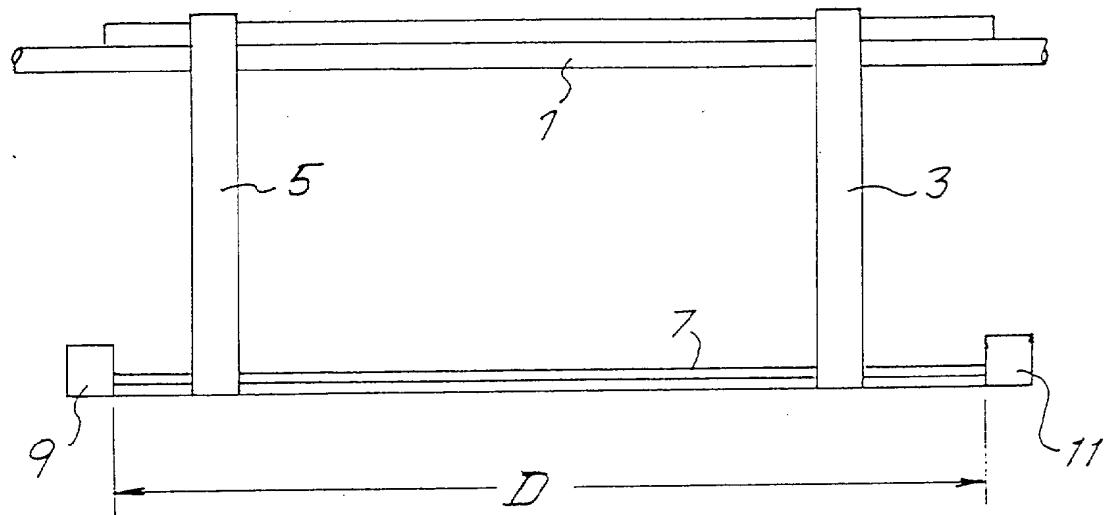


FIG. 2

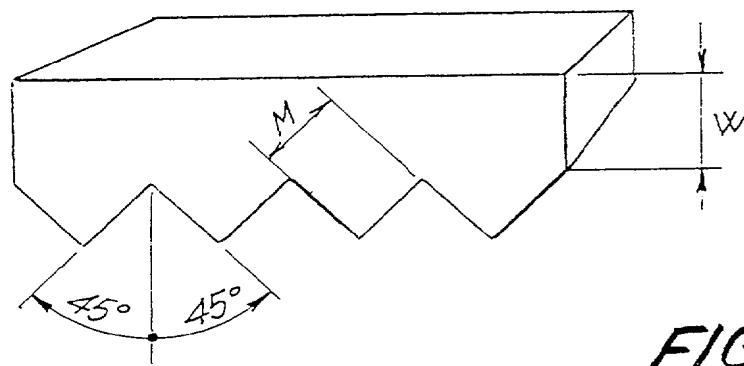
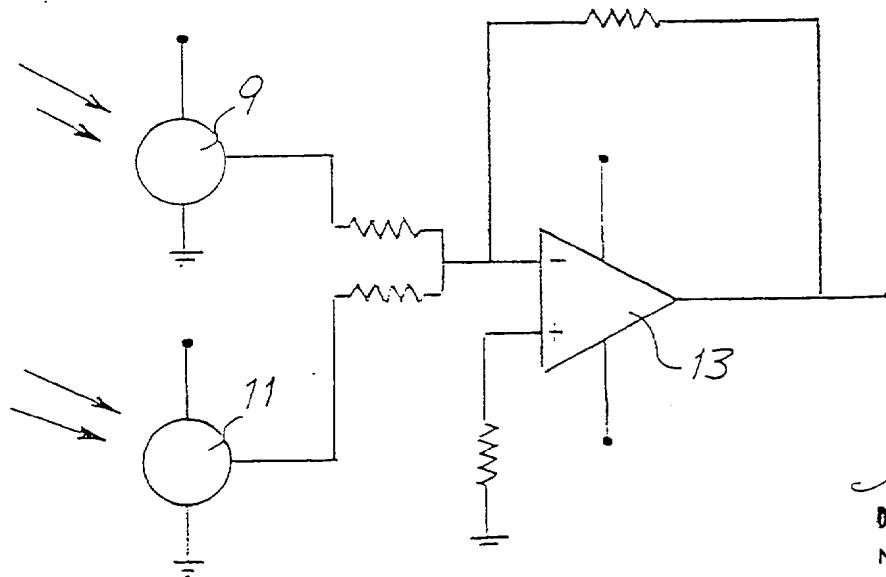


FIG. 3

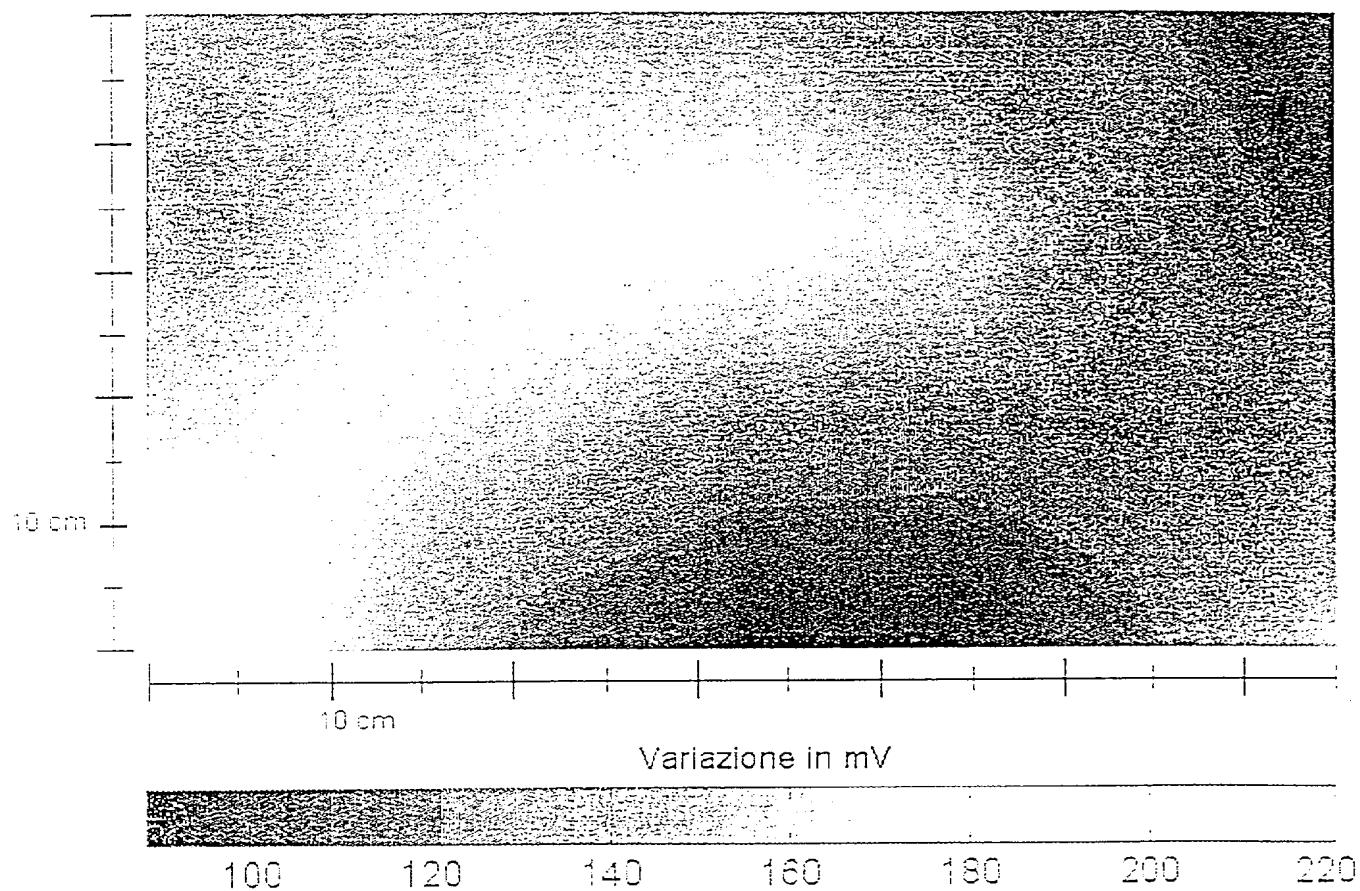


Dr. Luisa BACCARO MANNUCCI
N. 188 Ordine Consulenti

000086 13 APR 97

10 cm 10 cm

FIG. 4



663

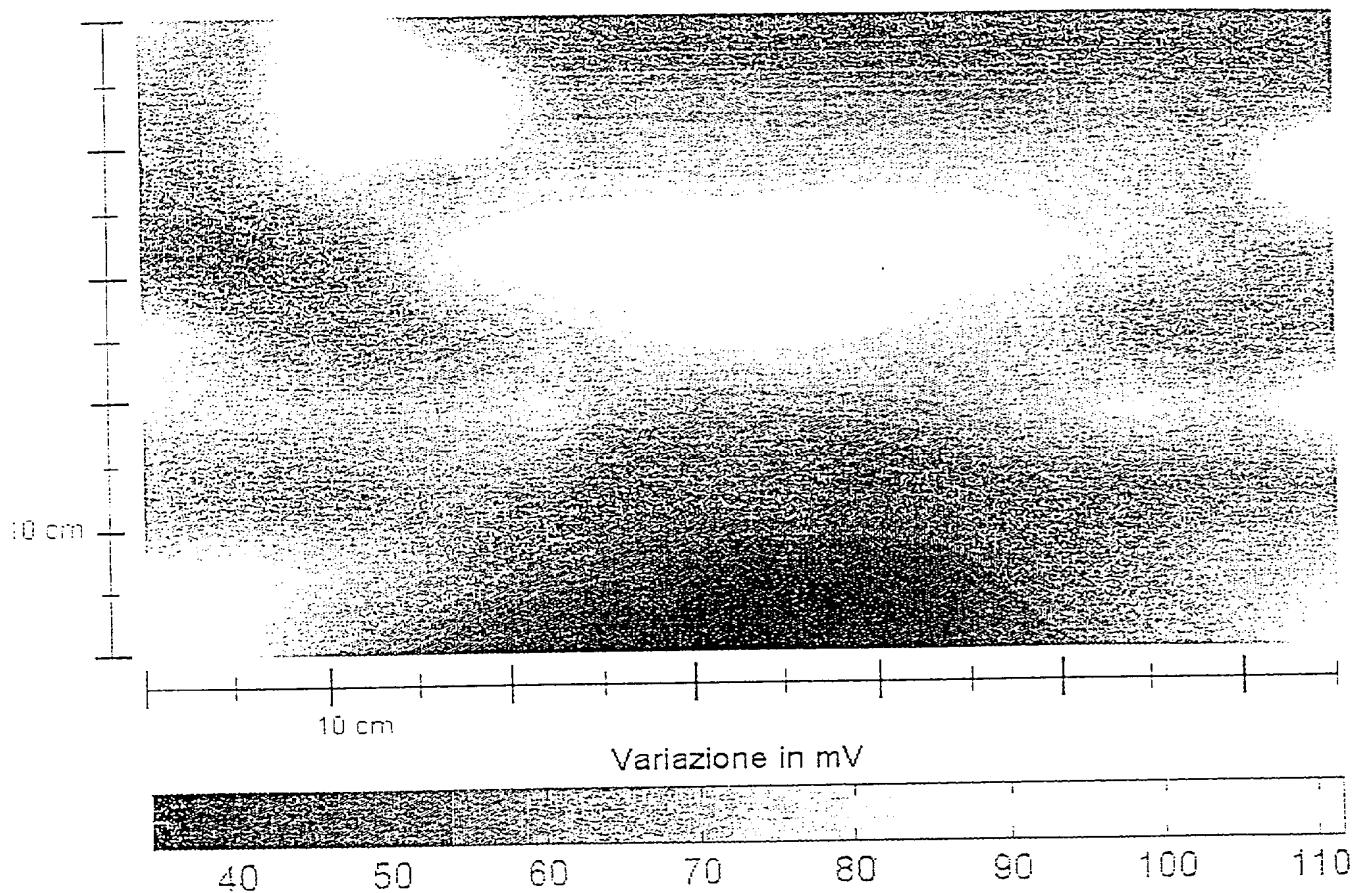
[Handwritten signature]

Dr. Luisa BACCARO MAMLUCCI
N. 189 Ordine Consulenti

000086 148 APR 37

卷之三

FIG. 5

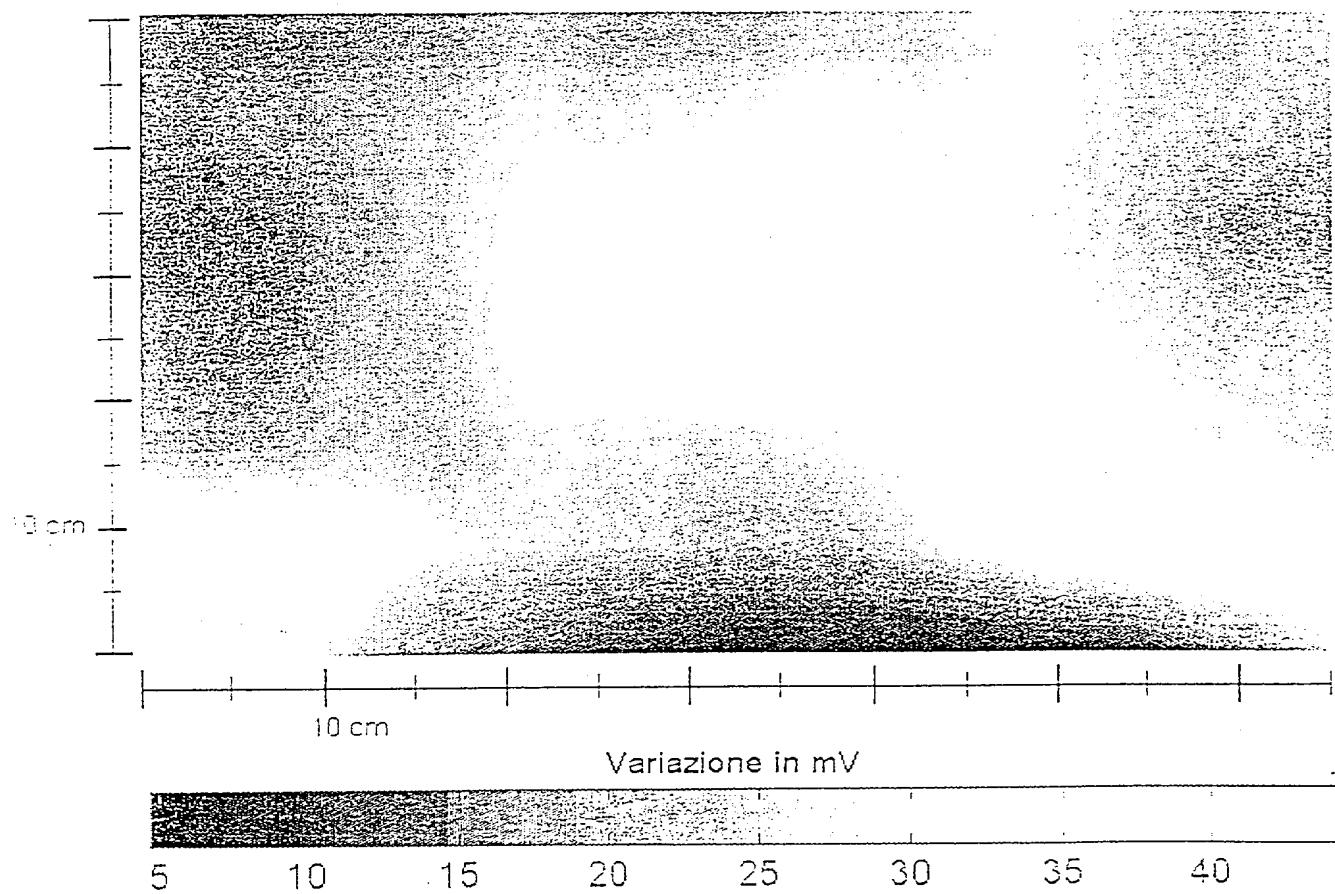


Dr. Luisa BACCARO MANNOCCI
N. 189 Ordine Consulente

000086 18 APR 37

卷之三十一

FIG. 6

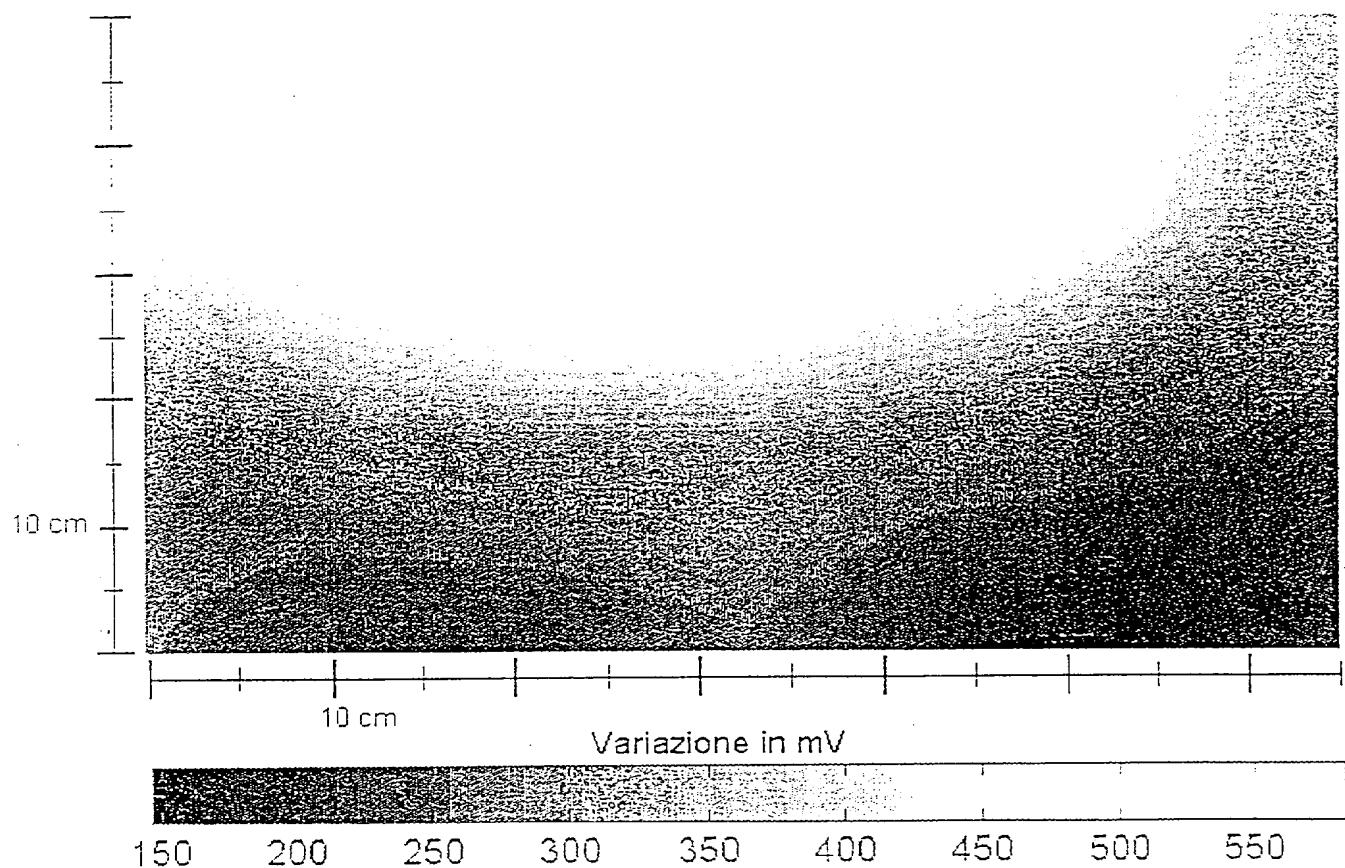


Dr. Luisa BACCARO MANNUCCI
N. 189 Ordine Consulente

000080 18 APR 97

10 cm 10 cm

FIG. 7



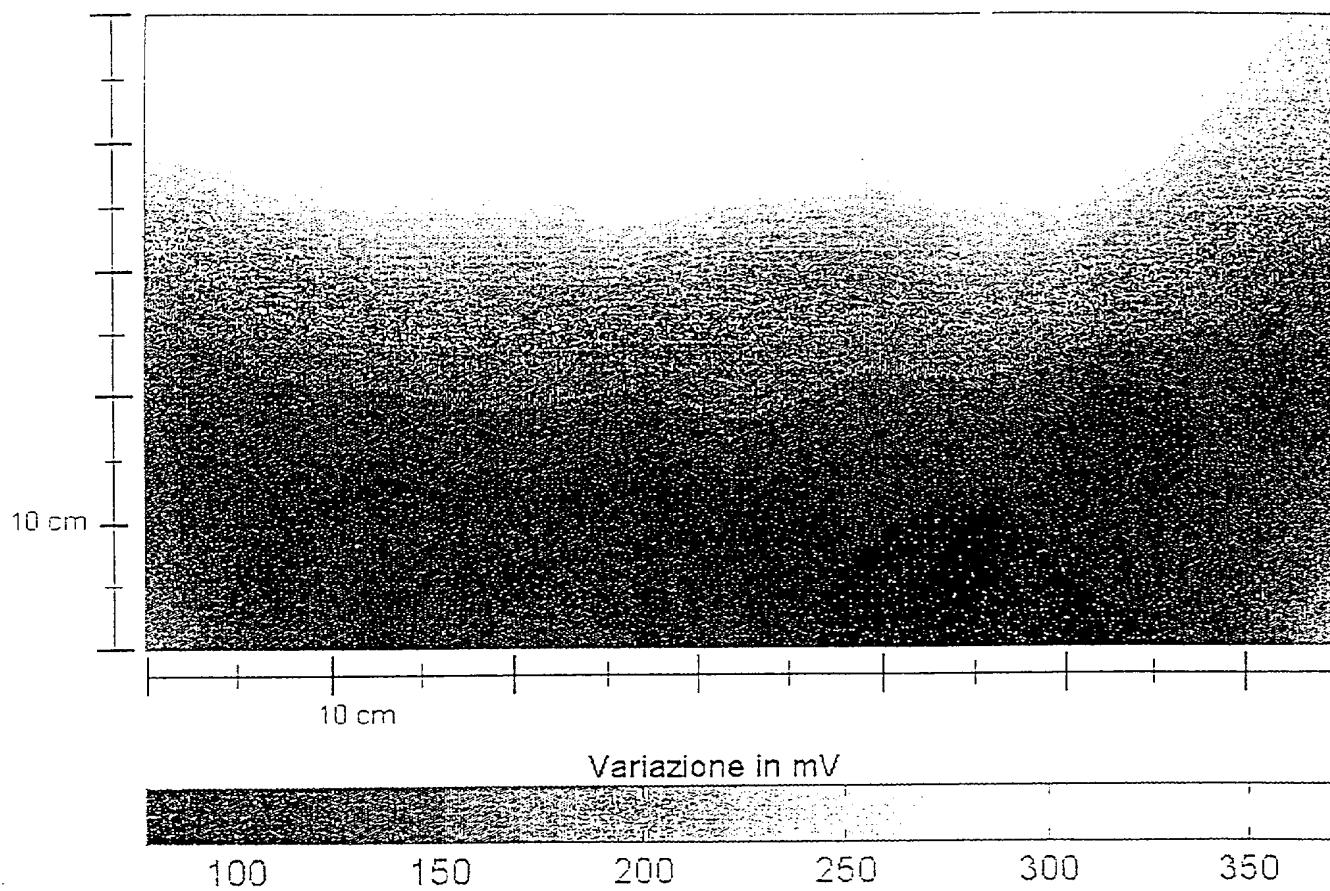
603


Dr. Luisa BACCARO MANNUCCI
N. 189 Ordine Consulenti

000086 18 APR 97

10 cm 10 cm

FIG. 8

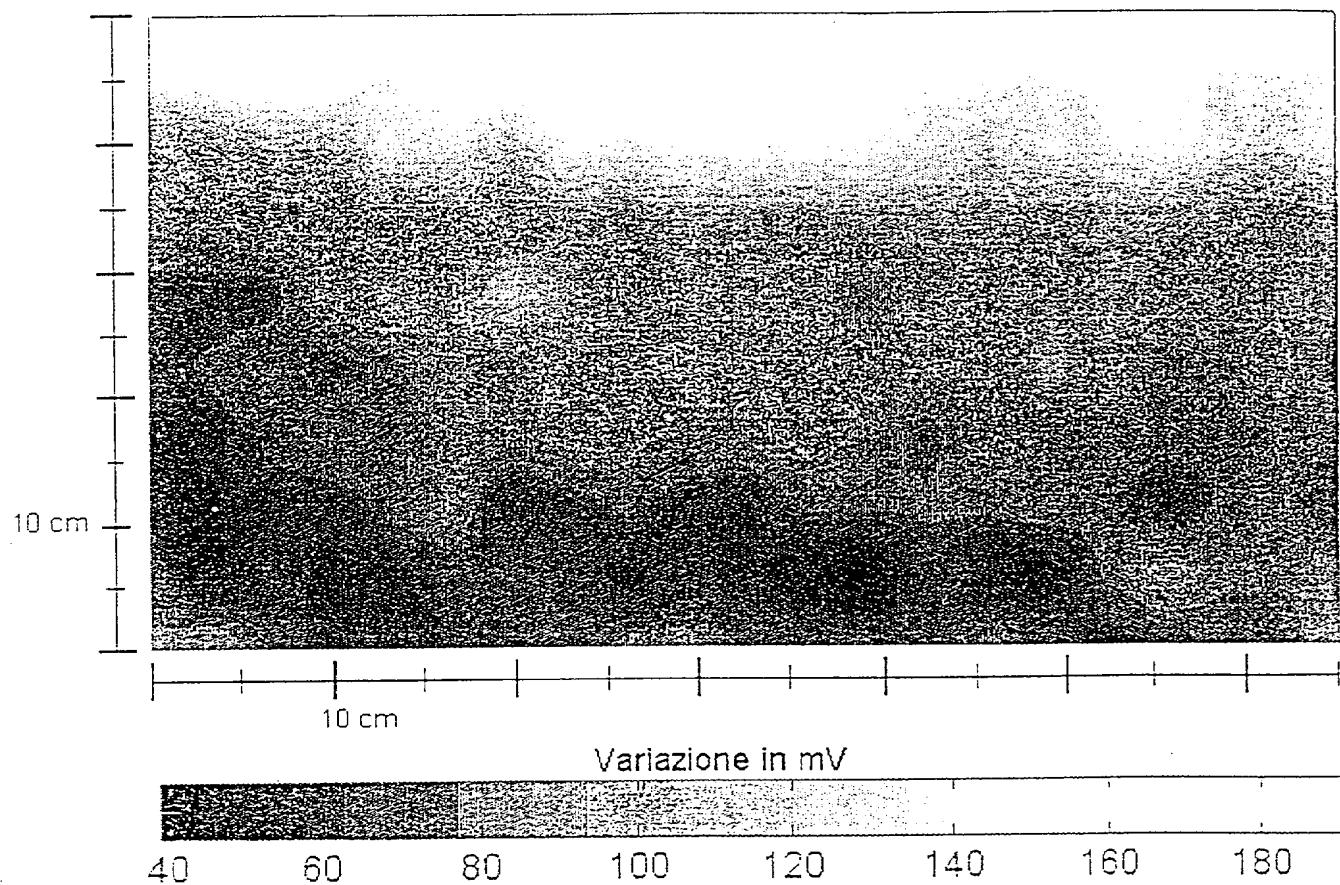


LB
Dr. Luisa BACCARO MANNUCCI
N. 189 Ordine Consulenti

000086 18 APR 37

10 cm 10 cm

FIG. 9



Scansione
WF

L

Dr. Luisa BACCARO MANTUCCI
N. 189 Ordine Consulenti